استفاده از رگرسیون درختی برای بررسی پارامترهای مؤثر بر شکوفایی جلبکی در سواحل جنوب شرقی ایران

کمال‌الدین کر [۱*]، امیر قاضی‌لو[۱]، حمید ارشادی‌فر[۱]، عماد کوچک‌نژاد[۱]

۱- پژوهشکده علوم دریایی، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران

[*]ایمیل نویسنده مسئول : kamalodin.kor@inio.ac.ir

تاریخ دریافت : ۹۹/۰۶/۱۰ تاریخ پذیرش : ۹۹/۰۷/۱۴

چکیده

در طی سال‌های اخیر، موارد زیادی از وقوع شکوفایی جلبکی در سواحل جنوب شرقی ایران گزارش شده است که منجر به تلفات تعداد زیادی از آبزیان دریایی در این منطقه شده است. هدف از مطالعه حاضر، استفاده از رگرسیون درختی برای بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و مواد مغذی لازم جهت شکوفایی جنس‌های مختلف فیتوپلانکتونی می‌باشد. بدین منظور، طی یک سال از ۶ ایستگاه در ۲ ترانسکت واقع در سواحل پسابندر و بریس نمونه‌برداری انجام شد. روند تغییرات pH، شوری، دما، اکسیژن محلول، غلظت نیترات، نیتریت، فسفات و سیلیکات با تراکم فیتوپلانکتون‌های غالب موردبررسی قرار گرفت. در طول مدت مطالعه ۴۰ جنس از فیتوپلانکتون‌ها در منطقه موردمطالعه شناسایی شد که بیش از ۹۵ درصد از تعداد کل سلول‌های مشاهده‌شده متعلق به ۱۴ جنس فیتوپلانکتونی بود. نتایج نشان داد که افزایش pH احتمال کشند Gonyaulax و Rhizosolenia، افزایش دما احتمال کشند Leptocylindrus و افزایش شوری شرایط لازم برای کشند Mesodinium و Ceratium را فراهم می‌آورد. افزایش غلظت فسفات می‌تواند شرایط شکوفایی Chaetocerus را فراهم آورد. شرایط نیترات بیشینه نیز می‌تواند منجر به شکوفایی Prorocentrum شده و افزایش نیتریت نیز می‌تواند منجر به شکوفایی Rhizosolenia شود. افزایش غلظت سیلیکات شرایط مناسب را برای شکوفایی Nitzschia فراهم می‌نماید.

کلمات کلیدی

" رگرسیون درختی " ," شکوفایی جلبکی " ," پارامترهای فیزیکوشیمیایی " ," مواد مغذی "

Use of regression tree to investigate the effective parameters on algal bloom in the southeastern coasts of Iran

Kamalodin Kor[1, *], Amir Ghazilou[1], Hamid Ershadifar[1], Emad Koochanejad[1]

1. Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science, Teharn, Iran

[*]Email Address: kamalodin.kor@inio.ac.ir

Abstract

In recent years, the incidence of many cases of algal blooms have been reported in the southeastern coasts of Iran, which led to the loss of mass mortality of marine fish in this area. The aim of this study was to use regression trees to investigate the effects of physicochemical parameters and nutrient concentration on algal blooms. During the one-year study period, sampling was done in 6 stations along 2 transects in the coastal waters of Pasabandar and Beris. The trend of changes in pH, salinity, temperature, dissolved oxygen, nitrate concentration, nitrite, phosphate, and silicate with the community of dominant phytoplankton genera was recorded. Overall, 40 phytoplankton genera were identified and more than 95% of the total number of observed cells belonged to 14 genera of phytoplankton. Results showed that increase in the pH, temperature, salinity, phosphate, nitrate and silicate were the effective parameters to bloom of Gonyaulax, Leptocylindrus, Mesodinium, Chaetocerus, Prorocentrum, Rhizosolenia and Nitzschia, respectively.

Keywords

“Regression tree”, “Algal bloom”, “Physicochemical parameters”, “Nutrient”

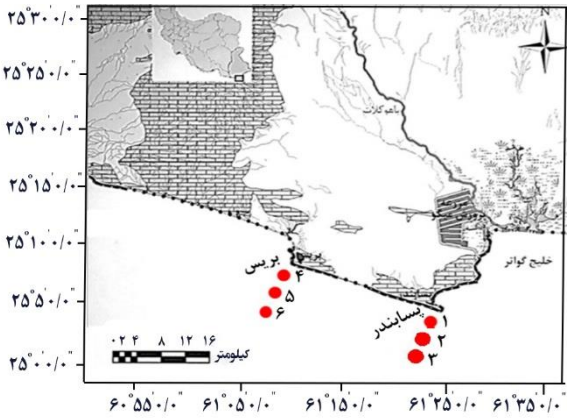
۱- مقدمه

شکوفایی‌های جلبکی پدیده‌ای ا ست که هر ساله و در چندین نوبت در آب‌های دریایی پیش می‌آید و در خلال آن تعداد فیتوپلانکتون‌ها زیاد می‌شود. زمان معمول آن در مناطق نیمه گرمسیری و معتدله کره زمین معمولاً در اوایل بهار و پاییز ا ست که طی آن درجه حرارت آب م ساعد ر شد این جلبک‌های تک سلولی می شود. تراکم زیاد آن‌ها در آب سبب تغییر رنگ آب به رنگ‌های سبز، شیری، قرمز، قهوه‌ای و نارنجی می‌شوند که نوع رنگ آب دریا بستگی به نوع گونه فیتوپلانکتون و رنگیزه آن دارد ولی ازآنجاکه بیشتر این پدیده به صورت قرمز ا ست، به همین لحاظ معمولاً به آن کشند قرمز گفته می‌شود و ممکن است منجر به بروز مشکلاتی برای انسان‌ها و یا آبزیان شود (Anderson et al., 2011; Yeganeh et al., 2020). به نوع خطرناک کشند قرمز، شکوفایی جلبکی مضر (harmful algal bloom) گفته می‌شود . کشندها خواه مضر باشند یا نباشند در سرتاسر جهان رخ می‌دهند و مطالعات علمی صورت گرفته در ارتباط با واقعه شکوفایی جلبکی یک افزایش جهانی و گسترش جغرافیایی را نشان می‌دهد (Hallegraeff, 1993). به‌طور دقیق ترکیبی از فاکتورهایی که سبب شکوفایی جلبکی می شوند هنوز م شخص نیست، اما تعدادی از کارشناسان بر این باورند که فاکتورهای محیطی، بادهای موسمی، جریانات اقیانوسی و فعالیت‌های انسانی نقش مهمی در ایجاد شکوفایی جلبکی دارند (Tang et al., 2004). در برخی موارد به‌واسطه اثرات انسانی در مناطق ساحلی از قبیل تخلیه فاضلاب به دریا و درنتیجه افزایش مواد مغذی این پدیده روی می‌دهد. در برخی مناطق فصلی ا ست و نا شی از بالا آمدن آب از اعماق ساحلی (فراجو شش) ا ست. در مواردی دیگر، بروز طوفان‌های گردوخاک حاوی آهن می‌تواند عامل آن باشد و پس از یک طوفان، چنانچه عامل حرارت نیز مساعد باشد، شکوفایی جلبکی رخ می‌دهد. این حالت در خلیج‌فارس و دریای عمان به‌کرات مشاهده می‌شود. به‌طورکلی می‌توان گفت: درجه حرارت مناسب و وجود مواد مغذی مهم‌ترین عوامل کشند قرمز هستند و عوامل فرعی و محلی دیگری نیز در شدت و یا گسترش آن نقش دار ند (Manavi et al., 2009). از م یان بیش از ۵۰۰۰ گو نه فیتوپلانکتون شناخته شده، حدود ۳۰۰ گونه آن‌ها قادر به تکثیر و ر شد سریع و به‌ا صطلاح توانایی شکوفا شدن دارند (Gerssen et al., 2010). همچنین حدود ۴۰ گونه از آن‌ها توانایی تولید سموم قوی را دارند که شکوفایی این‌گونه‌ها حتی با غلظت‌های پایین می‌تواند برای موجودات و انسان کشنده باشد (Daranas et al., 2001). ازجمله م شکلات ایجادشده از کشند قرمز، کشته شدن پرندگان، پستانداران دریایی، توده عظیمی از ماهی‌ها، سخت‌پوستان ازجمله میگوهای پرورشی و حتی صدمات جدی به انسان را می‌توان نام برد (Kirkpatrick et al., 2004; Yeganeh et al., 2020). در طول دهه‌های گذشته، مناطق ساحلی در سرتاسر جهان، آنچه را که در ظاهر بروز شکوفایی جلبکی بوده، چه از نوع سمی و چه از نوع غیر سمی تجربه کرده‌اند که منجر به صدمات زیادی برای انسان‌ها، آبزیان و همچنین اقتصاد کشورهای ساحل‌نشین شده است. در طی سال‌های اخیر، موارد زیادی از وقوع شکوفایی جلبکی در منتهی‌الیه جنوب شرقی ایران در سواحل دریای عمان و بخصوص در خلیج گواتر، پسابندر و بریس اتفاق افتاده که منجر به تلفات مقادیر زیادی از آبزیان دریایی و به‌تبع آن باعث خسارات فراوان به ماهیگیران این منطقه شده است (Koochaknejad et al., 2016). در این ناحیه بنادر صیادی مهمی واقع شده‌اند که به همراه سایر بنادر جنوب ا ستان سی ستان و بلوچستان بیش از ۸۰ درصد ماهیان تن کشور را تأمین می‌کنند (Hamzeh et al., 2014) که نشان‌دهنده اهمیت بسیار بالای این منطقه از سواحل دریای عمان می‌باشد. به نظر می‌رسد که در اکثر موارد شروع شکوفایی جلبکی از قسمت شرق دریای عمان (خلیج گواتر) بوده و به سمت خلیج چابهار گسترش پیدا می‌کند. بنابراین هدف از این مطالعه شنا سایی پارامترهای مؤثر و ا صلی در پدیده شکوفایی جلبکی در این منطقه با ا ستفاده از رگر سیون درختی به‌منظور پیش‌بینی احتمال وقوع آن‌ها می‌باشد.

۲- روش انجام تحقیق

• محدوده موردمطالعه

منطقه موردمطالعه آب‌های ساحلی اطراف دو اسکله صیادی مهم شامل: بریس و پسابندر در جنوب شرقی کشور ایران و شرقی‌ترین ق سمت سواحل مکران می‌با شد. منطقه موردمطالعه از شرق به خلیج گواتر و از غرب بافا صله ۶۰ کیلومتری از خلیج چابهار قرارگرفته ا ست. پسابندر یکی از بندرهای صیادی شهرستان چابهار می‌باشد که در کنار خلیج گواتر و در محدوده‌ای نزدیک به مرز پاکستان واقع شده است. بریس بندر صیادی است که در امتداد حاشیه ساحلی دریای عمان (سواحل مکران) بافا صله ۶۰ کیلومتری از شرق خلیج چابهار و نزدیک به کوه‌های معروف مینیاتوری واقع شده است.



شکل ۱- محدوده موردمطالعه و موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری

• انتخاب نقاط نمونه‌برداری

برای نمونه‌برداری از آب‌های ساحلی این دو بندر صیادی از ۲ ترانسکت عمود بر ساحل با ۶ ایستگاه نمونه‌برداری ا ستفاده شده ا ست. برای هر ایستگاه سه عمق سطح، ۵ و ۱۰ متر در نظر گرفته شد. نمونه‌برداری از ا سفندماه سال ۱۳۹۵ به صورت ماهیانه تا ا سفندماه سال ۱۳۹۶ انجام شد و در ماه‌های خرداد و تیر به علت تلاطم زیاد دریا انجام نشد. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۱ و م شخصات جغرافیایی آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ایستگاه	عرض جغرافیایی (شرقی)	طول جغرافیایی (شمالی)
۱	۶۱°۲۴'۵۶/۲"	۲۵°۰۴'۱۲/۳"
۲	۶۱°۲۳'۲۸/۰"	۲۵°۰۲'۱۶/۷"
۳	۶۱°۲۲'۰۹/۰"	۲۵°۰۰'۴۴/۲"
۴	۶۱°۱۰'۱۰/۷"	۲۵°۰۸'۱۸/۲"
۵	۶۱°۰۹'۲۹/۲"	۲۵°۰۶'۵۳/۹"
۶	۶۱°۰۸'۴۸/۱"	۲۵°۰۵'۱۴/۰"

- **روش نمونه‌برداری و آنالیز شیمیایی**

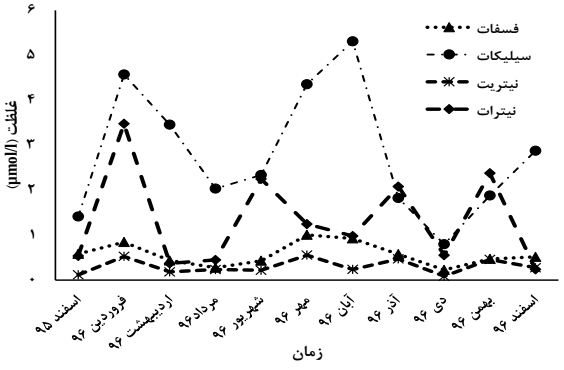
در هر ایستگاه، نمونه‌برداری از سه عمق با سه تکرار با استفاده از بطری نیسکین ۳ لیتری مارک Hydro-Bios انجام شد. مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب شامل pH، دما، اکسیژن محلول، شوری، و هدایت آب در لحظه نمونه‌برداری ثبت گردید. ۱۰۰ میلی‌لیتر از نمونه‌ها با استفاده از فیلتر سرسرنگی ۰/۴۵ میکرومتر Sartorius فیلتر شده و داخل کلمن حاوی یخ به آزمایشگاه شیمی مرکز اقیانوس‌شناسی چابهار منتقل شدند. اندازه‌گیری نیتریت، فسفات و همچنین سیلیکات با روش کالریمتری و نیترات با استفاده از روش احیای نیترات به نیتریت توسط ستون کادمیم-مس و کالریمتری انجام شد (Murphy and Riley, 1962) (Koroleff, 1983). نمونه‌برداری بیولوژیکی جهت شمارش فیتوپلانکتون‌ها با سه تکرار انجام شد. بدین منظور ۱ لیتر از نمونه‌های آب برداشته شده توسط نیسکین در عمق‌ها و ایستگاه‌های مختلف به بطری‌های پلی استایرنی منتقل شده و فیتوپلانکتون‌ها توسط محلول لوگول در محل نمونه‌برداری فیکس شدند. نمونه‌های فیکس شده با استفاده از روش ته‌نشینی به مدت ۳ روز در یک محل ثابت نگهداری شد تا پلانکتون‌ها ته‌نشین شوند. سپس آب روی نمونه‌ها را تا حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر سرریز کرده و یک میلی‌لیتر از نمونه در لام سدویک رافتر ریخته شده و با میکروسکوپ نوری ZEISS شناسایی و شمارش گردید. در هر ایستگاه حداقل سه تکرار در نظر گرفته شد. نمونه‌های فیتوپلانکتونی با استفاده از منابع اینترنتی و کتاب‌های شناسایی در دسترس و استفاده از مقالات مختلف تا حد جنس مورد شناسایی قرار گرفتند.

- **روش آنالیز آماری**

سنجش ارتباط بین عوامل زیست‌محیطی و تراکم فیتوپلانکتون‌ها به‌صورت چند متغیره و با استفاده از روش‌های رج‌بندی (Ordination methods) به انجام رسید. بدین منظور، ابتدا طول گراد یان (Gradient length) محاسبه گردید و با توجه به این امر که عدد مذکور بزرگ‌تر از ۳/۵ بود، پاسخ غیرخطی محرز گردید و از روش CCA (Canonical-Correlation Analysis) برای تحلیل‌ها استفاده شد. در مرحله بعد، تعیین شرایط زیست‌محیطی ایجاد کشنده کشند هرگونه با استفاده از رگرسیون درختی میسر گردید. رگرسیون‌های درختی نوعی از درخت‌های تصمیم‌گیری (Decision tree) می‌باشند که در آن با استفاده از اِفراز بازگشتی (Recursive partitioning) مدل اولیه به مدل‌های جزئی‌تر منشق شده و درنهایت مقادیری از متغیرهای مستقل که منجر به شرایط مطلوب (شرایط کشندی در مطالعه حاضر) می‌شوند تعیین می‌شود.

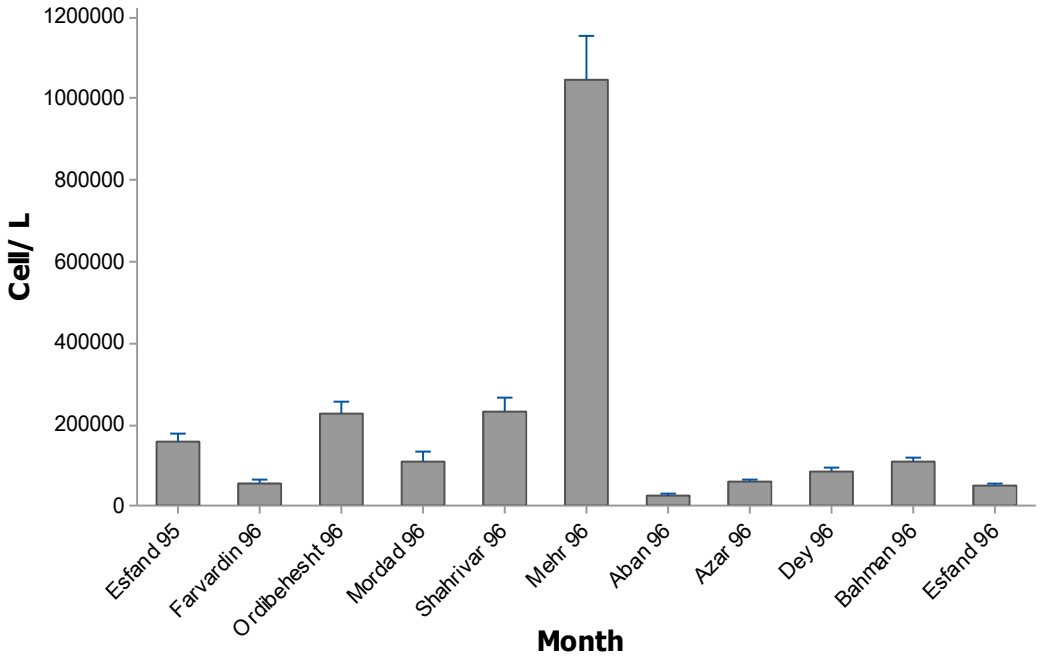
۳- نتایج

با توجه به نتایج این بررسی که در طی ۱۱ نمونه‌برداری به‌صورت ماهیانه انجام شد، مشخص گردید که تغییرات زیادی در پارامترهای فیزیکوشیمیایی، مواد مغذی و تراکم کل فیتوپلانکتون‌ها و همچنین ساختار اجتماعات آن‌ها در طول سال مشاهده می‌شود. هم‌زمان با افزایش مواد مغذی، فیتوپلانکتون‌ها که از این مواد تغذیه می‌کنند نیز رشد پیدا می‌کنند. در این مطالعه، جنس‌های مختلف فیتوپلانکتون که در طول زمان نمونه‌برداری حضور داشتند شناسایی و پارامترهای مختلف مؤثر در رشد سریع آن‌ها بررسی شده است. تغییرات ماهیانه غلظت مواد مغذی آب در منطقه موردمطالعه نشان می‌دهد که در اکثر ماه‌های نمونه‌برداری سیلیکات در هر ایستگاه بیشترین درصد غلظتی مواد مغذی را به خود اختصاص داده است و پس از آن نیترات و فسفات درصدهای بالاتری دارند و کمترین غلظت مربوط به نیتریت بوده است. البته این روند ثابت نبوده و در برخی ماه‌ها تغییرات شدیدی در درصد غلظتی نیترات روی‌داده است به‌نحوی‌که در شهریورماه، آذر و در برخی از ایستگاه‌ها در دی‌ماه درصد غلظت نیترات غالب بوده است (شکل ۲).



شکل ۲ تغییرات ماهیانه میانگین± انحراف استاندارد غلظت مواد مغذی

میانگین کلی فسفات در طول مدت مطالعه ۰/۵۷±۰/۱۱ µM محاسبه شد. میانگین نیتریت و نیترات نیز به ترتیب ۰/۳۰ ±۰/۱۱ µM و ۱/۴۷ ±۰/۶۶ µM به‌دست آمد. نیتریت محصول واسطه در چرخه نیتروژن در آب و حالت اکسایش واسطه بین آمونیاک و نیترات می‌باشد. در آب‌های سطحی به علت مصرف توسط فیتوپلانکتون‌ها و تبدیل شدن به نیترات در شرایطی که مقدار اکسیژن زیاد باشد، به‌ندرت در غلظت‌های بالا دیده می‌شود (Ershadifar et al., 2020; Sharma and Ahlert, 1977). مقادیر مربوط به تغییرات پارامترهای فیزیکوشیمیایی نیز در طول مدت نمونه‌برداری ثبت شد که مقادیر آن‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. در طول مدت مطالعه ۴۰ جنس از فیتوپلانکتون ها متعلق به ۳ شاخه (ciliophora، myzozoa و Ochrophyta) شناسایی شدند. میانگین تراکم کل فیتوپلانکتون‌ها در دوره‌های مختلف نمونه‌برداری در شکل ۳ نشان داده شده است.

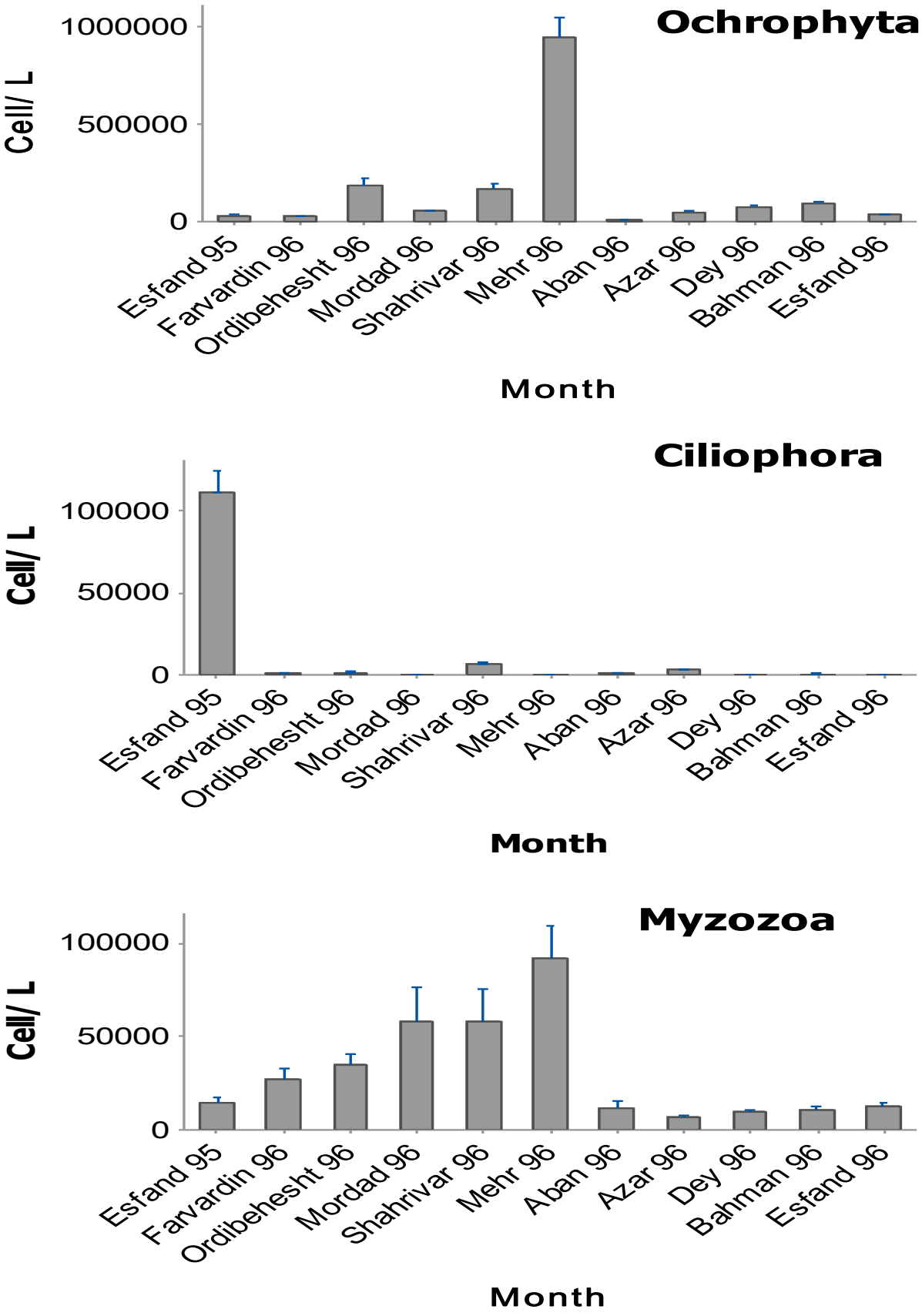


شکل ۳- میانگین± انحراف استاندارد تراکم کل فیتوپلانکتون‌ها در دوره‌های مختلف نمونه‌برداری

جدول ۲ مقادیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی (میانگین± انحراف استاندارد) در طول مدت نمونه‌برداری

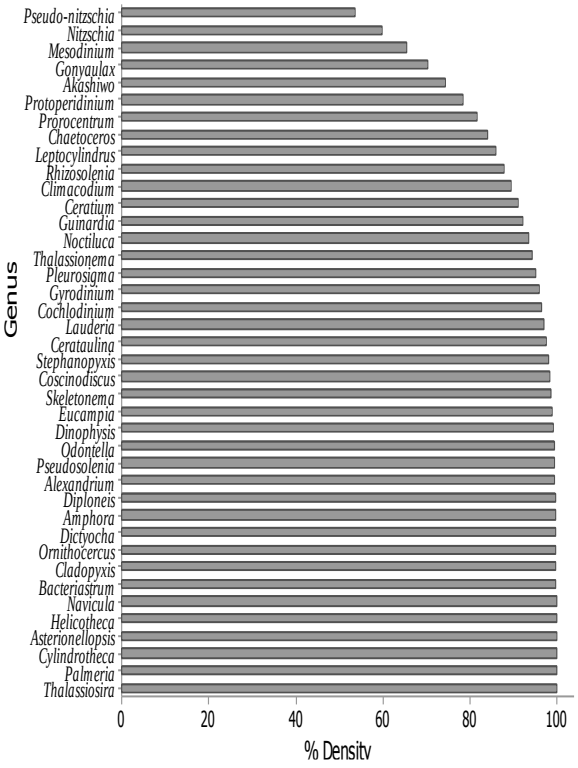
زمان	پارامتر فیزیکوشیمیایی				
	pH	دما (°C)	اکسیژن محلول (mg/L)	شوری (psu)	هدایت الکتریکی (mS/cm)
اسفند ۹۵	۸/۲۸±۰/۰۱	۲۴/۱۳±۰/۰۴	۵/۵۹±۰/۰۵	۳۶/۳۹±۰/۰۱	۵۵/۰۱±۰/۰۱
فروردین ۹۶	۸/۱۹±۰/۰۱	۲۵/۷۶±۰/۱۳	۳/۵۷±۰/۱۱	۳۶/۲۷±۰/۰۱	۵۴/۷۳±۰/۰۲
اردیبهشت ۹۶	۸/۱۰±۰/۰۲	۲۸/۴۲±۰/۲۱	۴/۰۲±۰/۱۷	۳۶/۲۸±۰/۰۱	۵۴/۵۴±۰/۰۲
مرداد۹۶	۸/۱۷±۰/۰۲	۲۹/۰۲±۰/۳۰	۴/۴۴±۰/۱۶	۳۶/۳۸±۰/۰۳	۵۴/۶۱±۰/۰۴
شهریور ۹۶	۸/۱۵±۰/۰۱	۲۹/۵۶±۰/۱۹	۵/۳۸±۰/۱۶	۳۶/۲۷±۰/۰۳	۵۴/۳۷±۰/۰۲
مهر ۹۶	۸/۱۷±۰/۰۱	۲۶/۵۶±۰/۱۷	۳/۰۸±۰/۲۲	۳۵/۹۷±۰/۰۲	۵۴/۲۷±۰/۰۳
آبان ۹۶	۸/۲۸±۰/۰۱	۲۶/۳۷±۰/۰۳	۵/۸۸±۰/۰۵	۳۶/۲۲±۰/۰۱	۵۴/۶۴±۰/۰۲
آذر ۹۶	۸/۳۶±۰/۰۱	۲۳/۲۸±۰/۰۶	۶/۸۶±۰/۰۴	۳۶/۳۸±۰/۰۱	۵۵/۰۷±۰/۰۲
دی ۹۶	۸/۲۸±۰/۰۲	۲۲/۹۶±۰/۰۴	۷/۵۰±۰/۰۶	۳۶/۳۳±۰/۰۱	۵۵/۰۴±۰/۰۲
بهمن ۹۶	۸/۱۹±۰/۰۱	۲۳/۹۳±۰/۰۴	۶/۶۴±۰/۰۷	۳۶/۱۹±۰/۰۱	۵۴/۷۲±۰/۰۱
اسفند ۹۶	۸/۲۵±۰/۰۲	۲۴/۴۱±۰/۰۳	۶/۲۶±۰/۰۳	۳۶/۱۸±۰/۰۱	۵۴/۶۷±۰/۰۱

برخی از جنس‌های فیتوپلانکتونی از قبیل Pseudo-nitzschia، Pleurosigma، Rhizosolenia، Prorocentrum، Noctiluca، Protoperidinium، Chaetoceros و Ceratium در تمام نمونه‌برداری‌ها حضور داشته‌اند، برخی دیگر از قبیل Palmeria، Climacodium، Navicula، Lauderia و Cerataulina تنها در فصول سرد سال، و برخی نیز از قبیل Alexandrium، Cochlodinium، Skeletonema، Amphora، Asterionellopsis، Thallasiosera صرفاً در فصول گرم مشاهده شدند. میانگین تراکم ciliophora، myzozoa و Ochrophyta در ماه‌های مختلف سال در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ٤- میانگین± انحراف استاندارد تراکم شاخه‌های فیتوپلانکتونی در طول مدت مطالعه

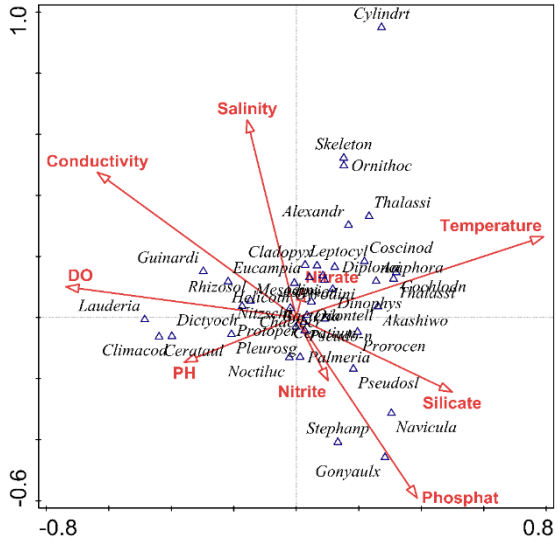
از مقایسه شکل ۳ ***Error! Reference source not found.*** و شکل ۴ به نظر می‌رسد که الگوی مشاهده‌شده در تغییرات زمانی تراکم کل فیتوپلانکتون‌ها مشابه Ochrophyta می‌باشد. اختلاف مشاهده شده در تراکم شاخه‌های فیتوپلانکتونی در طول مدت مطالعه معنی بوده است (p <۰/۰۵). ترتیب تجمعی راوانی جنس‌های فیتوپلانکتونی در طول مدت مطالعه در شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۵- ترتیب فراوانی تجمعی جنس‌های فیتوپلانکتونی

بیش از ۹۵ درصد از تعداد کل سلول‌های فیتوپلانکتونی مشاهده‌شده در طول این مدت متعلق به ۱۴ جنس Pseudo-nitzschia، Akashiwo ،Gonyaulax ،Mesodinium ،Nitzschia ،protoperidinium ،prorocentrum ،Chaetoceros ،Leptocylindrus ،Rhizosolenia ،Climacodium ،Ceratium ،Guinardia و Noctiluca بودند.

برای بررسی ارتباط ساختار اجتماعات فیتوپلانکتونی با خصوصیات فیزیکو شیمیایی و مواد مغذی آب از CCA استفاده شد (شکل ۶). بر اساس نتایج CCA اثر تمام پارامترهای مورد آزمون بر تغییرات ساختار اجتماعات فیتوپلانکتونی معنی‌دار بود و درمجموع ۱۲/۸٪ از این تغییرات را توجیه می‌نمودند.



شکل ٦- نمودار ارتباط سنجی بین ساختار اجتماعات فیتوپلانکتونی با خصوصیات فیزیکوشیمیایی و مواد مغذی آب

بر همین اساس رگرسیون‌های درختی تغییرات تراکم هرگونه بر اساس پارامترها رسم گردید. بر اساس نتایج مربوط به تحلیل رگرسیون درختی می‌توان شرایط فیزیکو شیمیایی و مواد مغذی لازم جهت شکوفایی هرکدام از جنس‌ها را در جدول ۳ جمع‌بندی نمود.

جدول ۳ نتایج آنالیز رگرسیون‌های درختی تک پارامتری

جنس فیتوپلانکتون	پارامتر							
	pH	دما	شوری	DO	فسفات	نیترات	نیتریت	سیلیکات
Pseudo-nitzschia	8.17<X <= 8.28	X<= 27.95	35.85<X <= 36.11	X>5.06	X> 0.82	X> 0.41	X> 0.04	1.92<X <= 3.11
nitzschia	X> 8.22	27.05<X <= 28.95	36.05<X <= 36.11	3.98<X <= 4.43	X> 0.65	X> 2.40	X> 2.25	4.82<X <= 6.02
Mesodinium	8.15<X <= 8.23	X<= 30.05	X> 36.6	X>4.61	X> 0.91	X> 9.38	X> 0.29	0.55<X <= 1.55
Gonyaulax	X> 8.31	X> 28.85	36.05<X <= 36.12	4.98<X <= 5.98	0.91<X <= 1.05	0.60<X <= 1.28	X> 0.06	X> 3.22
Akashiwo	8.05<X <= 8.10	26.25<X <= 29.05	36.16<X <= 36.25	X>5.88	X> 0.63	0.31<X <= 0.36	X> 0.21	X> 6.76
Protoperidinium	8.22<X <= 8.27	X> 27.45	36.11<X <= 36.16	X>4.38	0.65<X <= 1.40	X> 0.67	X> 2.78	1.87<X <= 2.05

X> 3.22	X> 2.60	1.88<X <= 4.7	0.88<X <= 0.95	X>5.95	36.05<X <= 36.17	X<= 28.85	8.17<X <= 8.32	**Prorocentrum**
3.5<X< = 7.77	0.26<X <= 2.78	X> 0.25	X> 1.35	4.43<X <= 7.83	36.5<X <= 36.7	25.95<X <= 28.35	X<= 8.14	**Chaetoceros**
0.75<X <= 1.27	0.27<X <= 0.78	0.38<X <= 1.42	X> 0.11	4.29<X <= 4.88	36.3<X <= 36.7	X> 31.2	8.2<X< = 8.29	**Leptocylindrus**
1.13<X <= 3.61	X>7.96	0.45<X <= 5.59	0.16<X <= 0.69	X>7.94	36.35<X <= 36.7	22.65<X <= 23.45	X> 8.31	**Rhizosolenia**
1.05<X <= 1.36	X>2.59	0.56<X <= 0.84	X> 0.51	6.89<X <= 6.93	36.05<X <= 36.35	22.65<X <= 24.45	8.15<X <= 8.20	**Climacodium**
3.02<X <= 3.23	X> 2.37	1.38<X <= 1.42	0.165<X <= 0.39	4.24<X <= 5.02	X> 36.4	24.65<X <= 29.25	8.16<X <= 8.26	**Ceratium**
X<= 0.27	0.02<X <= 0.07	0.02<X <= 1.73	X> 0.16	X>7.94	36.16<X <= 36.35	23.15<X <= 23.45	8.26<X <= 8.30	**Guinardia**
5.35<X <= 5.40	0.38<X <= 0.47	0.45<X <= 1.35	1.09<X <= 1.12	5.64<X <= 5.69	X<= 36.05	25.5<X <= 27.45	X<= 8.01	**Noctiluca**

٤- بحث

گزارش‌هایی مبتنی بر کشـند ناشـی از هر ۱۴ جنس در مطالعات به تائید رسیده است. به‌عنوان مثال کشند ناشی از جنس Akashiwo اخیراً منجر به تلفات شـدید ماهیان در دریای عمان شـده اسـت (Ataran, 1388). همچنین حضـور جنس‌های سـمی از قبیل Gonyaulax و Pseudo-nitzschia نیز در آب‌های ساحلی دریای عمان گزارش شـده اسـت (Maghsoudlou et al., 2015). موارد متعددی از کشـند ناشـی از Pseudo-nitzschia در آب‌های اطراف کالیفرنیا گزارش شده است (Schnetzer et al., 2007) و کشـند ناشـی از Mesodinium نیز از آب‌های اطراف دانمارک گزارش شـده اسـت (Juel Hansen and Fenchel, 2006). کشـند Noctiluca در جنوب دریای عمان در سال ۲۰۰۴ گزارش شده است (Al-Azri et al., 2012). بر اسـاس بررسـی‌های جداگانه‌ی عوامل زیسـت‌محیطی موردبررسـی، افزایش pH احتمال کشند Gonyaulax و Rhizosolenia را تقویـت می‌نمـایـد. افزایش دمـا نیز می‌توانـد منجر بـه کشـنـد Leptocylindrus شود و افزایش شوری می‌تواند شرایط لازم برای کشـند Mesodinium و Ceratium را فراهم آورد. از طرفی، افزایش غلظت اکسـیژن محلول در آب می‌تواند منجر به شکوفایی Guinardia و Rhizosolenia شود و افزایش غلظت فسفات می‌تواند شرایط شکوفایی Chaetocerus را فراهم آورد. شـرایط نیترات بیشـینـه نیز می‌توانـد منجر بـه شـکوفـایی Prorocentrum شـده و افزایش نیتریت نیز می‌تواند منجر به شکوفایی Rhizosolenia شود. درنهایت افزایش غلظت سیلیکات می‌تواند منجر به شـکوفایی Nitzschia شـود. نظیر نتایج مطالعه حاضـر مبنی بر تأثیر مسـتقیم کاهش غلظت سـیلیکات بر شـکوفایی Pseudo-nitzschia، گزارش شـده اسـت که کاهش غلظت سـیلیکات موجود در آب می‌تواند منجر به افزایش آنی رشـد Pseudo-nitzschia شود (از طریق فعال نگه‌داشتن متابولیسم و ا ستفاده احتمالی از سیلیکات باز سازی شده) (Fehling et al., 2004). از طرفی دیگر، این شرایط می‌تواند منجر به افزایش تر شح دوموئیک ا سید در این جنس شده و این امر نیز به‌نوبه خود می‌تواند منجر به ایجاد برتری رقابتی با سـایر گونه‌ها شـود (Fehling et al., 2004). بر اسـاس نتایج مطالعه حاضـر به نظر می‌رسـد که افزایش اکسـیژن می‌تواند تأثیر منفی بر شـکوفایی این‌گونه داشـته باشـد. در مطالعه دیگری نیز به این نکته اذعان شـده اسـت (Trainer et al., 2009) که این امر می‌تواند به علت تأثیر *ROS* بر مرگ سـلولی در این‌گونه باشـد (Marchetti et al., 2008). البتـه در مطـالعـه‌ای دیگر ارتبـاط مثبـت بین تراکم Pseudo-nitzschia با غلظت سـیلیکات مشـاهده شـده اسـت (Maghsoudlou et al., 2015). در مطالعه حاضـر حداقل غلظت ۰/۶۵ میکرومولار بر لیتر فسـفات به‌عنوان یکی از عوامل اصـلی ایجاد شـکوفایی Nitzschia مطرح شـده اسـت. انواع گونه‌های متعلق به این جنس، اغلب ازجمله موجودات کف زی بشمار می‌آیند که با آب‌های عمقی دارای غلظت بالای فسـفات سـازگار شـده‌اند (Yamamoto et al., 2012). درواقع این‌گونه‌ها می توانند میزان بالایی از فسـفر را ذخیره نمایند (Yamamoto et al., 2012). غلظت بالای نیترات و نیتریت به‌عنوان یکی از عوامل اصـلی شـکوفایی Mesodinium بشـمار می‌آید. انواع گونه‌های متعلق به این جنس می‌توانند از آمونیاک و نیترات به‌عنوان ماده

مغذی استفاده نمایند این در حالی است که اغلب فیتوپلانکتون‌ها بیشتر تمایل به جذب آمونیاک دارند (Wilkerson and Grunseich, 1990). شدت نور نیز می‌تواند میزان جذب نیترات را افزایش دهد. با توجه به اینکه نمونه‌برداری‌های مربوط به این مطالعه در طول روز انجام شده است بنابراین افزایش نیترات در طول روز می‌تواند منجر به شکوفایی این‌گونه شود (Wilkerson and Grunseich, 1990). در این مطالعه، pH بالا به‌عنوان یک عامل مؤثر در شکوفایی Gonyaulax مطرح می‌باشد. نتایج مشابهی در مطالعه (Griffis and Chapman, 1990) نیز به دست آمده است. بر همین اساس احتمالاً بتوان این جنس را ازجمله تاژک‌داران حساس به pH اسیدی بشمار آورد (Kenneth, 2002). از طرفی دیگر به نظر می‌رسد کاهش pH می‌تواند به نفع Akashiwo باشد. برخی از گونه های فیتوپلانکتونی ازجمله Akashiwo spp. به‌عنوان گونه‌های CO_2-limited بشمار می‌آیند و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در آب می‌تواند منجر به تحریک رشد در این دسته از فیتوپلانکتون‌ها شود، هرچند که احتمالاً این‌گونه‌ها از مکانیسم‌های ویژه‌ای در مقابله با کاهش pH ناشی از افزایش CO_2 برخوردار هستند (Ou et al., 2017). کاهش غلظت نیترات نیز می‌تواند به نفع این جنس باشند. با این حال و با توجه بر اینکه Akashiwo دارای الگوی مهاجرت عمودی متأثر از نیترات بوده و در مطالعه حاضر کل ستون آب نمونه‌برداری نشده است، الگوی مشاهده شده احتمالاً به علت عدم پوشش کامل ستون آب باشد (Cullen and Horrigan, 1981). با توجه بر این امر که Prorocentrum نوعی تاژک‌دار می‌باشد، تغییرات سیلیس محلول در آب شاید تأثیر مستقیمی بر رشد این موجود نداشته باشد و احتمالاً این ارتباط نوعی ارتباط غیرمستقیم باشد. به‌عنوان‌مثال، بر اساس نتایج مطالعه (Pan et al., 1996)، به نظر می‌رسد افزایش غلظت سیلیکات می‌تواند منجر به کاهش تولید سم در Pseudo-nitzschia شود و در این شرایط احتمال شکوفایی گونه‌های دیگر مثل Prorocentrum تقویت خواهد شد. در مطالعه حاضر دمای کمتر از ۲۳ درجه به‌عنوان یکی از شرایط ایده‌آل برای شکوفایی Rhizosolenia مطرح شده است. انواع گونه متعلق به این جنس می‌توانند در شرایط متفاوت دمایی زندگی کنند و حتی برخی از گونه ها از آب‌های قطبی نیز گزارش شده اند. در مطالعه‌ای که بر روی R.robusta به انجام رسیده، بیشینه رشد، نظیر مطالعه حاضر، در دمای ۲۰ درجه ثبت گردیده است (Baars, 1988). نتایج نشان داد که شوری کمتر از psu ۳۶ به‌عنوان شرایط بهینه برای شکوفایی Noctiluca معرفی شده است. در مطالعه‌ای دیگر نیز، شوری بین ۱۹/۱ تا ۳۳/۴ واحد به‌عنوان شرایط بهینه برای شکوفایی این جنس فیتوپلانکتونی مطرح گردیده است (Huang and Qi, 1997). برخی از گونه‌های متعلق به Climacodium دارای نوعی باکتری کوکسی همزیست می‌باشند که عموماً در پروسه تثبیت نیتروژن فعالیت می‌نماید. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که ارتباط همزیستی بین این باکتری و Climacodium در دماهای میانه به بیشترین حد خود می‌رسد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که دماهای میانه منجر به افزایش رشد Climacodium شود (Carpenter and Janson, 2000). در مطالعه حاضر مقادیر ۰/۱۶ < فسفات محلول در آب به‌عنوان شرایط مناسب برای شکوفایی Guinardia مطرح شده است. بر اساس نتایج مطالعه (Sidabutar et al., 2016) نیز کاهش غلظت فسفات در آب می‌تواند تأثیر منفی در تراکم این سلول‌ها داشته باشد بنابراین این جنس را شاید بتوان به‌عنوان فیتوپلانکتون حساس به فسفات در نظر گرفت.

۵- نتیجه‌گیری

درخت‌های تصمیم‌گیری از روش‌های آماری مناسب برای پیش‌بینی پدیده‌های طبیعی به شمار می‌آیند. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، به نظر می‌رسد این روش‌ها می‌توانند در تعیین شرایط ایجادکننده کشند در دریای عمان نیز بکار گرفته شوند. در این مطالعه تاثیر تارامترهای مختلف بر فراوانی و شکوفایی فیتوپلانکتون‌ها بررسی شد. نتایج رگرسیون درختی نشان داد که افزایش pH احتمال کشند Gonyaulax و Rhizosolenia را تقویت می‌نماید. افزایش دما نیز می‌تواند منجر به کشند Leptocylindrus شود و افزایش شوری می‌تواند شرایط لازم برای کشند Mesodinium و Ceratium را فراهم آورد. شرایط نیترات بیشینه نیز می‌تواند منجر به شکوفایی Prorocentrum شده و افزایش نیتریت نیز می‌تواند منجر به شکوفایی Rhizosolenia شود. درنهایت افزایش غلظت سیلیکات می‌تواند منجر به شکوفایی Nitzschia شود. هرچند که سایر عوامل ازجمله ارتباط زیستی بین گونه‌ها (مانند رقابت، شکار و شکارچی گری) نیز می‌تواند در بروز پدیده شکوفایی مؤثر باشد. پیشنهاد می‌گردد تا مطالعات تکمیلی در راستای بررسی اثر این عوامل (از قبیل: عوامل زیستی و سینوتپیک) بر اجتماعات فیتوپلانکتونی منطقه نیز در آینده صورت پذیرد.

سپاسگزاری

مطالعه حاضر با استفاده از امکانات و تجهیزات پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی انجام شده است. بدین‌وسیله از پشتیبانی مادی و معنوی صورت گرفته تقدیر و تشکر به عمل می‌آید. همچنین از زحمات، مهندس غلامرسول بسکله و کاپیتان عبدالحکیم بارانی در طول مدت‌زمان نمونه‌برداری تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- Al-Azri, A., Piontkovski, S., Al-Hashmi, K., Al-Gheilani, H., Al-Habsi, H., Al-Khusaibi, S., Al-Azri, N., 2012. The occurrence of algal blooms in Omani coastal waters. Aquatic Ecosystem Health & Management 15, 56-63.
- Anderson, D.M., Cembella, A.D., Hallegraeff, G.M., 2011. Progress in Understanding Harmful Algal Blooms: Paradigm Shifts and New Technologies for Research, Monitoring, and Management. Annual Review of Marine Science 4, 143-176.
- Ataran, G., 1388. Initial Assessment on Dispersion of Harmful Algae Bloom along South-East Coast of Oman Sea, Department Of Enviroment Islamic Republic of Iran, p. 99.

- Baars, J.W.M., 1988. Autecological investigations on marine diatoms 6:Rhizosolenia robusta Norman,Rhizosolenia imbricata Brightwell andRhizosolenia shrubsolei Cleve. Hydrobiological Bulletin 22, 157-162.
- Carpenter, E.J., Janson, S., 2000. Intracellular cyanobacterial symbionts in the marine diatom climacodium frauenfeldianum (bacillariophyceae). Journal of Phycology 36, 540-544.
- Cullen, J.J., Horrigan, S.G., 1981. Effects of nitrate on the diurnal vertical migration, carbon to nitrogen ratio, and the photosynthetic capacity of the dinoflagellate Gymnodinium splendens. Mar. Biol. 62, 81-89.
- Daranas, A.H., Norte, M., Fernández, J.J., 2001. Toxic marine microalgae. Toxicon 39, 1101-1132.
- Ershadifar, H., Koochaknejad, E., Ghazilou, A., Kor, K., Negarestan, H., Baskaleh, G., 2020. Response of phytoplankton assemblages to variations in environmental parameters in a subtropical bay (Chabahar Bay, Iran): Harmful algal blooms and coastal hypoxia. Regional Studies in Marine Science, 101421.
- Fehling, J., Davidson, K., Bolch, C.J., Bates, S.S., 2004. Growth and domoic acid production by pseudo-nitzschia seriata (bacillariophyceae) under phosphate and silicate limitation. Journal of Phycology 40, 674-683.
- Gerssen, A., Pol-Hofstad, I.E., Poelman, M., Mulder, P.P.J., Van den Top, H.J., De Boer, J., 2010. Marine Toxins: Chemistry, Toxicity, Occurrence and Detection, with Special Reference to the Dutch Situation. Toxins 2, 878.
- Griffis, K., Chapman, D.J., 1990. Modeling Cretaceous-Tertiary boundary events with extant photosynthetic plankton: effects of impact-related acid rain. Lethaia 23, 379-383.
- Hallegraeff, G.M., 1993. A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. Phycologia 32, 79-99.
- Hamzeh, M.A., Mahmudi Gharaie, M.H., Baskaleh, G., 2014. Geochemical Investigation on the Sources and Influences of Heavy Metal Pollution in Fishing Harbours of Ramin and Beris. Journal of Oceanography 5, 21-31.
- Huang, C., Qi, Y., 1997. The abundance cycle and influence factors on red tide phenomena of Noctiluca scintillans (Dinophyceae) in Dapeng Bay, the South China Sea. Journal of Plankton Research 19, 303-318.
- Juel Hansen, P., Fenchel, T., 2006. The bloom-forming ciliate Mesodinium rubrum harbours a single permanent endosymbiont. Mar. Biol. Res. 2, 169-177.
- Kenneth, R.H., 2002. Effects of pH on coastal marine phytoplankton. Marine Ecology Progress Series 238, 281-300.
- Kirkpatrick, B., Fleming, L.E., Squicciarini, D., Backer, L.C., Clark, R., Abraham, W., Benson, J., Cheng, Y.S., Johnson, D., Pierce, R., Zaias, J., Bossart, G.D., Baden, D.G., 2004. Literature review of Florida red tide: implications for human health effects. Harmful Algae 3, 99-115.
- Koochaknejad, E., Ghazilou, A., Ershadifar, H., Kor, K., Maghsoudlou, A., 2016. A three-year record of red tides in Chabahar coastal waters (North of Gulf of Oman). Journal of the Persian Gulf 7, 61-66.
- Koroleff, F., 1983. Determination of Silicon, Method of Seawater Analysis, 2nd Ed., 174.
- Maghsoudlou, A., Momtazi, F., Aghajanpour, F., 2015. Spatial Pattern of Phytoplankton Communities from Iranian Waters of the Gulf of Oman in Pre-Monsoon Period. Journal of the Persian Gulf (Marine Science) 6, 65-77.
- Manavi, P.N., Pasandi, A.A., Saghali, M., Beheshtinia, N., Mirshekar, D., 2009. Study of nitrate and phosphate in eastern south Caspian Sea in spring and summer. 4, 10-19.
- Marchetti, A., Parker, M.S., Moccia, L.P., Lin, E.O., Arrieta, A.L., Ribalet, F., Murphy, M.E.P., Maldonado, M.T., Armbrust, E.V., 2008. Ferritin is used for iron storage in bloom-forming marine pennate diatoms. Nature 457, 467.
- Murphy, J., Riley, J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta 27, 31-36.
- Ou, G., Wang, H., Si, R., Guan, W., 2017. The dinoflagellate Akashiwo sanguinea will benefit from future climate change: The interactive effects of ocean acidification, warming and high irradiance on photophysiology and hemolytic activity. Harmful Algae 68, 118-127.
- Pan, Y., Subba Rao, D.V., Mann, K.H., Li, W.K.W., Harrison, W.G., 1996. Effects of silicate limitation on production of domoic acid, a neurotoxin, by the diatom Pseudo-nitzschia multiseries. II. Continuous culture studies. Marine Ecology Progress Series 131, 235-243.
- Schnetzer, A., Miller, P.E., Schaffner, R.A., Stauffer, B.A., Jones, B.H., Weisberg, S.B., DiGiacomo, P.M., Berelson, W.M., Caron, D.A., 2007. Blooms of Pseudo-nitzschia and domoic

acid in the San Pedro Channel and Los Angeles harbor areas of the Southern California Bight, 2003–2004. Harmful Algae 6, 372-387.
- Sharma, B., Ahlert, R., 1977. Nitrification and nitrogen removal. Water Res. 11, 897-925.
- Sidabutar, T., Bengen, D.G., Wouthuyzen, S., Partono, T., 2016. The abundance of phytoplankton and its relationship to the N/P ratio in Jakarta Bay, Indonesia. Biodiversitas Journal of Biological Diversity 17.
- Tang, D.L., Kawamura, H., Doan-Nhu, H., Takahashi, W., 2004. Remote sensing oceanography of a harmful algal bloom off the coast of southeastern Vietnam. Journal of Geophysical Research: Oceans 109.
- Trainer, V.L., Wells, M.L., Cochlan, W.P., Trick, C.G., Bill, B.D., Baugh, K.A., Beall, B.F., Herndon, J., Lundholmf, N., 2009. An ecological study of a massive bloom of toxigenic Pseudo-nitzschia cuspidata off the Washington State coast. Limnology and Oceanography 54, 1461-1474.
- Wilkerson, F.P., Grunseich, G., 1990. Formation of blooms by the symbiotic ciliate Mesodinium rubrum : the significance of nitrogen uptake. Journal of Plankton Research 12, 973-989.
- Yamamoto, T., Suzuki, M., Kim, K., Asaoka, S., 2012. Growth and uptake kinetics of phosphate by benthic microalga Nitzschia sp. isolated from Hiroshima Bay, Japan. Phycological Research 60, 223-228.
- Yeganeh, V., Sharifinia, M., Mobaraki, S., Dashtiannasab, A., Aeinjamshid, K., Borazjani, J.M., Maghsoudloo, T., 2020. Survey of survival rate and histological alterations of gills and hepatopancreas of the Litopenaeus vannamei juveniles caused by exposure of Margalefidinium / Cochlodinium polykrikoides isolated from the Persian Gulf. Harmful Algae 97, 101856.